

УДК 664.723

РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ НВЧ – УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШІННЯ ЗЕРНА

М. П Кунденко, доктор технічних наук, професор

Є. О Піх, магістр

Державний біотехнологічний університет

E-mail: n.p.kundenko@ukr.net, pikh1605@ukr.net

Анотація. У сільському господарстві України використовуються різноманітні сушильні установки, конструкція яких повинна забезпечувати рівномірне нагрівання та сушіння зерна, при цьому в той же час дозволяє контролювати температуру та вологість в зерновій масі. Вибір доцільної сушарки дозволяє значно підвищити якість висушеного зерна, підвищує рентабельність на виробництві, збільшує обсяг продукції, знижує собівартість сушіння, зменшує витрати на електроенергію. Нині найрозповсюджений метод сушіння є конвективний., Недоліки існуючих конвективних зерносушарок - це невисокий ККД, малий питомий з'йом вологи, нерівномірність сушіння, високі витрати сушильного агента, високі енерговитрати.

Мета дослідження - розроблення установки для сушіння, розрахованої на велику пропускну спроможність.

Застосування технології сушіння зерна за допомогою електромагнітних полів НВЧ дають ряд суттєвих переваг порівняно із звичайними сушарками, які використовують лише тепловий агент. Технологія сушіння зерна з використанням електромагнітних полів НВЧ може використовуватися у комбінованих сушарках.

Розроблено технологічну схему сушильної установки, в основу якої закладено принцип НВЧ-нагрівання, яка дозволяє інтенсифікувати зовнішній і внутрішній перенесення в процесі сушіння. У розробленій схемі процес сушіння відбувається в трьох робочих зонах. У першій зоні проводиться нагрівання за допомогою опромінення електромагнітним полем в НВЧ діапазоні насіння до певної температури, другій – відлежування насіння, де відбувається виділення вологи в між-зерновому просторі. У третій зоні проводиться продування шару потоком повітря з організацією псевдозрідження.

Визначено основні конструктивні та режимні параметри з використанням програмного середовища «Flowvision».

Ключові слова: зерно, НВЧ, сушарки, установка, електромагнітне поле

Актуальність. Нині одна із головних задач сільського господарства в Україні є збільшення об'ємів виробництва зерна. У зв'язку з цим постає проблема створення необхідних умов для тривалого зберігання врожаю. Зерно з полів може надходити з

різним ступенем вологості, а саме: сухе, з середньою вологістю, вологе та сире. Найбільш розповсюджений метод зберігання зернової маси –зберігання її у сухому стані. Це зумовлює необхідність наявності такого важливого технологічного процесу як сушіння. Сушіння - це досить складний технологічний процес, який повинен зберегти якість зерна та поліпшити його параметри. Тому створення раціональних та енергоефективних сушарок і вибір методів та режимів сушіння є досить актуальною проблемою. Основні вимоги, яким повинна відповідати зерносушарка, є висока продуктивність, екологічність, мала витрата електроенергії та універсальність.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині сучасні методи та технології сушіння зерна ґрунтуються на загальній теорії сушіння колоїдних капілярно-пористих об'єктів, з урахування особливостей окремо взятої зернини [1]. На підставі того факту, що зерно є найважливішим стратегічним сільськогосподарським продуктом в Україні, зумовлюється безперервне зростання виробництва зерна, що в свою чергу інтенсифікує процес сушіння. Зростання інтенсивності сушіння ні в якому разі не має погіршити біологічні, фізичні та продовольчі властивості, оскільки зерно - це живий організм, в якому безперервно відбуваються складні процеси обміну речовин. Питання зменшення згубного впливу сушіння на біологічний стан зерна були відображені в таких наукових роботах [2, 3]. Новітні положення, які описують кінетику сушки, були відображені в роботі [4, 5], науковцем було встановлено, що механізм переміщення вологи на різних стадіях збирання зерна, у подальшому зберіганні суттєво впливає на кондицію зерна. Існує безліч сушарок теплової дії, що розрізняються за способом підведення тепла до зернової маси, але усі сушарки, які використовують теплові методи на разі є не завжди ефективними, коли волога розподілення нерівномірна, на підставі цього факту ведуться дослідження в розробці новітніх сушарок [6]. Основні теоретичні та експериментальні дослідження в створенні сушарок, які були пов'язані з опроміненням електромагнітним полем у високій та надвисокій частоті, були відображені в роботах [7, 8].

Мета дослідження - розроблення установки для сушіння, розрахованої на велику пропускну спроможність. В умовах фермерських господарств сушіння малих обсягів зерна на таких установках затратне. Існуючі імпорتنі сушильні установки розраховані на невеликий знімок вологи за прохід. Підставою для цього є кліматичні умови європейських країн, збирання зернових в яких проходить практично при кондиційної вологості. В Україні умови такі, що до 50, а в окремі роки і до 80 відсотків зерна, що збирається, потрібно піддавати сушінню. При використанні такого обладнання доводиться кілька разів пропускати зерновий матеріал через установку, що призводить до необґрунтованих енерговитрат. Розв'язання цієї проблеми може стати розробка малогабаритних конвеєрних установок, в основу яких закладено принцип НВЧ-нагрівання, як найбільш безпечний та екологічний спосіб. З урахуванням вищевикладеного, сформулюємо мету дослідження: розробка конвеєрної НВЧ-установки з обґрунтуванням її оптимальних параметрів.

Матеріали та методи дослідження. Якщо розглядати механізм видалення вологи під час сушіння з використанням НВЧ, то ми можемо спостерігати картину, що волога, яка виділяється під час НВЧ-нагрівання, видалається разом з поглиненим повітрям. Внаслідок того, що нагрівання починається в центрі, градієнт температури спрямований в один бік градієнтом вологості, посилюючи виділення вологи до периферії, в той же час відбувається дуже швидке нагрівання, рівномірно та по всій товщині. НВЧ-нагрівання харчових продуктів – це досить складне технічне завдання не тільки точки зору техніки генерування електромагнітного поля в НВЧ діапазоні, але й з позиції структури та властивостей продуктів. Також НВЧ-нагрівання дає можливість концентрувати дуже високі енергії у малих обсягах матеріалу. Розробка зерносушарок, які використовують надвисокочастотне випромінювання, є перспективним науковим напрямком. Під час взаємодії електромагнітного поля НВЧ матеріал піддається об'ємному нагріванню, при якому градієнти температури, вологості та тиску мають однакову спрямованість, тим самим інтенсифікуючи процес сушіння, а також знижується ризик з'явлення високих температур. Більш того, принцип НВЧ-нагрівання дозволяє створювати конструкції установок для сушіння малих габаритів, які зручні для використання в малих

сільгосппідприємствах та фермерських господарствах. Під час певної потужності випромінювання можливе застосування НВЧ-випромінювання не тільки для сушіння, а і для передпосівної стимуляції, також енергію НВЧ-випромінювання можна використовувати для боротьби зі шкідливими комахами, використовувати мікрохвильову обробку комбікормів з метою підвищення їх санітарної якості та покращення засвоюваності при годівлі тварин.

Результати досліджень та їх обговорення. Розроблена конвеєрна НВЧ-установка для сушіння та мікрохвильової обробки зерна включає: несучу раму 24, бункер 1 з дозуючим пристроєм 2, конвеєр, що складається з ведучого 15 та веденого 22 барабанів і сітки 17 з тефлоновим покриттям, дві та більше робочі камери, розділені на зони НВЧ-нагрівання 5, зони відлежування 6 і охолодження 7, систему витяжки, що складається з повітряних каналів 8 та вентилятора 10, пристрій вирівнювання висоти матеріалу 9, систему рівномірного розподілу агенту сушіння, що складається з повітроводів 19, вхідного дифузора 26, корпусу 25, напрямних 27, двох рядів вихідних конфузоров 20 з прямокутними регульованими отворами, розташованих один під одним під кутом 90° та напірний вентилятор 18, датчики температури 3 та вологості 4, мотор-редуктора 16, пристрою регулювання натягу сітки конвеєра 23, хвильових пасток 11, виконаних у вигляді чверть-хвильових перетворювачів, поглинаючі навантаження 12 та 13, вивантажного каналу 14, блока управління 21.

Зерновий матеріал завантажується в бункер 1 НВЧ-установки. Встановлені в бункері 1 датчики 3 та 4 визначають температуру та вологість зерна, які передаються на дисплей блоку керування. Отримана інформація обробляється оператором, який включає необхідний режим роботи установки. Є можливість автоматичного керування установкою, при заданих режимах роботи. Після включення установки, зерно потрапляє на конвеєр та за заданими шаром і швидкістю переміщається всередині робочих камер, що складаються у свою чергу із зон нагріву, відкладення та охолодження матеріалу.

Конвеєрна НВЧ-установка для сушіння та мікрохвильової обробки зерна працює так: спочатку зерно потрапляє до першої робочої камери, де воно

переміщається через зони НВЧ-нагрівання 5, відлежування 6 та охолодження 7. Потім проходить наступні робочі камери і через вивантажувальний канал висипається в тару.

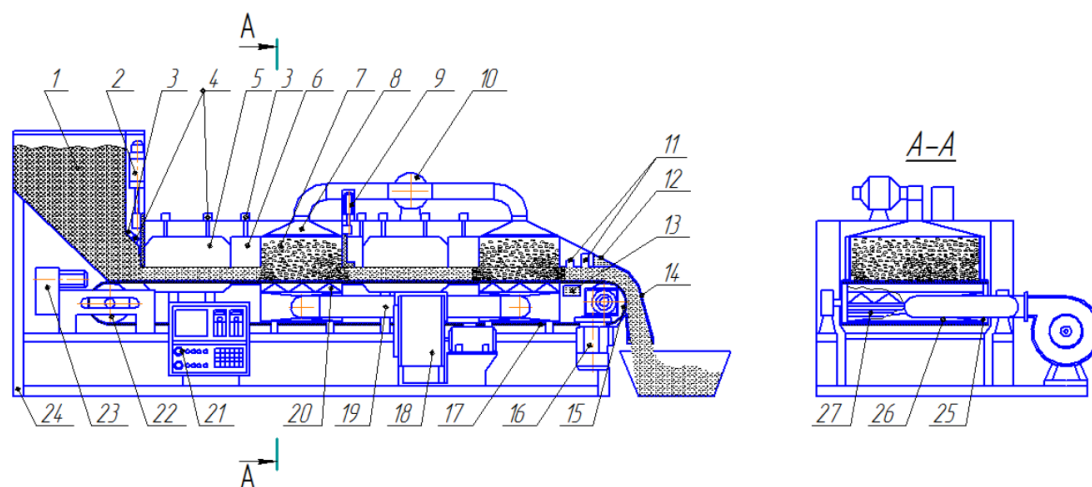


Рис. 1. Схема НВЧ-установки для сушіння та мікрохвильової обробки зерна

1 – бункер; 2 – дозуючий пристрій; 3 – датчик температури; 4 – датчик вологості; 5 – зона НВЧ – нагріву; 6 – зона відлежування; 7 – зона охолодження; 8 – повітряний канал; 9 – пристрій вирівнювання висоти матеріалу; 10 – вентилятор; 11 – хвильова пастка; 12, 13 – поглинаюче навантаження; 14 – вивантажувальний канал; 15 – провідний барабан; 16 – мотор-редуктор; 17 – сітка; 18 – напірний вентилятор; 19 – повітропровід; 20 – конфузор; 21 – блок управління; 22 – ведений барабан; 23 – пристрій регулювання натягу сітки конвеєра; 24 – рама; 25 – корпус; 26 – дифузор; 27 – напрямна.

Режим сушіння призначений для сушіння зерна з вихідною вологістю до кондиційної або до необхідної.

При роботі НВЧ-установки в режимі сушіння зерно з бункера, пересуваючись конвеєром, потрапляє в зону нагрівання 5 першої робочої камери, де проводиться його об'ємне нагрівання до потрібної температури. Потім воно проходить через зону відлежування. У зоні відлежування 6 відбувається вирівнювання температури шару, а також вихід вологи із внутрішніх шарів матеріалу на її поверхню. Датчики 3, які розташовані в зоні відлежування 6, визначають температуру зерна. За значенням температури матеріалу в зоні відлежування визначається тривалість обдування

матеріалу в наступній зоні – зоні охолодження 7. У зоні охолодження 7 проводиться обдування матеріалу агентом сушіння в псевдорозрідженому шарі. В якості агенту сушіння служить атмосферне повітря із температурою 20...30 °С. За необхідності як агент сушіння може служити підігріте до потрібної температури повітря. Через організацію псевдорозрідженого шару відбувається рівномірне перемішування матеріалу і відведення вологи, що вийшла, яка через система витяжки йде назовні. Зерновий матеріал під час проходження через зону охолодження 7 охолоджується на 5...10 °С максимальної температури нагрівання. Датчики 3 та 4, розташовані в зоні охолодження, визначають температуру зерна, температуру та вологість агенту сушіння. Кінцеву температуру матеріалу можна регулювати шляхом зміни напору та часу роботи напірного вентилятора 18, а також перекриттям отворів верхнього ряду конфузорів 20 системи рівномірного розподілу агенту сушіння. Далі висота шару за допомогою пристрою вирівнювання висоти матеріалу 9 вирівнюється до заданого, і шар зерна проходить через решту робочих зон.

Конвеєрна НВЧ-установка працює на частоті 2,45 ГГц. У режимі сушіння потужність електромагнітного випромінювання може змінюватися в діапазоні 100...800 Вт/кг. Продуктивність установки регулюється зміною швидкості конвеєра, висоти шару та потужності електромагнітного випромінювання. Інтенсивність перемішування матеріалу в псевдорозрідженому шарі можна регулювати шляхом зміни напору вентилятора 18 та перерізу отворів верхнього ряду конфузорів системи 20 рівномірного розподілу агенту сушіння.

У режимі мікрохвильової обробки можна проводити передпосівну електромагнітну стимуляцію та знезараження насіння сільськогосподарського культур, а також використовувати мікрохвильову обробку комбікормів з метою підвищення їх санітарної якості та поліпшення засвоюваності під час годівлі тварин.

При передпосівній електромагнітній стимуляції насіння сільськогосподарських культур потужність електромагнітного випромінювання може змінюватись у діапазоні 100...500 Вт/кг, температура нагрівання насіння не перевищує 40...45 °С. При роботі на даному режимі задаються швидкість конвеєра НВЧ-установки, висота

шару, потужність електромагнітного випромінювання, температура нагрівання насіння та за необхідності тривалість роботи напірного вентилятора 18.

При знезараженні насіння сільськогосподарських культур та теплової обробці комбікормів потужність електромагнітного випромінювання може змінюватись у діапазоні 100...800 Вт/кг. При роботі на даних режимах матеріал також проходить всі зони робочих камер, і за потреби може бути увімкнений напірний вентилятор 18.

Конвеєрна НВЧ-установка може застосовуватися як у сільському господарстві, так і в харчовій та хімічній промисловості для сушіння, знезараження та теплової обробки різних сипучих матеріалів.

Розглянемо рух зерна у конвеєрній НВЧ-установці. Насінина рухається горизонтально. З урахуванням того, що рух відбувається у трьох зонах, то на першій та другій ділянці характер руху насінина визначається як прямолінійний рівномірний рух.

На третій ділянці зерновий шар знаходиться у підвішеному, або псевдозрідженому стані. Розрахунок зводиться до визначення гідравлічного опору сітки та швидкості псевдозрідження $u_{\text{по}}$. Початок псевдозрідження настає при рівності сили гідравлічного опору шару ваги всіх його частинок.

Практичне вирішення завдання, щодо визначення $u_{\text{по}}$ пов'язано з певними труднощами, обумовленими тим, що розміри частинок у шарі, як правило, відрізняються один від одного (полідисперсний шар). Максимальне значення критерію Рейнольдса, за якого починається псевдозрідження, знаходиться за рівнянням:

$$Re_{\text{по}} = \frac{Ar}{1400 + 5,22\sqrt{Ar}}, \quad (1)$$

де Ar – критерій Архімеда

$$Ar = \frac{g \times d_{\text{екв}}^3 \times (p_c - p_{\text{пов}})}{v_{\text{пов}}^2 \times p_{\text{пов}}}, \quad (2)$$

де g – прискорення вільного падіння, $d_{\text{екв}}$ – еквівалент діаметру насіння, $p_{\text{пов}}$ – густина повітря, p_c – щільність насіння, $v_{\text{пов}}$ – кінематична густина повітря. Для зерна еквівалентний діаметр дорівнює $d_{\text{екв}} = 0.0034$, а критерій Архімеда дорівнює $Ar = 48704$.

Далі визначають $Re_{по}$ за формулою 2, та знаходять швидкість початку псевдозрідження шару

$$u_{по} = \frac{Re_{по} \times \mu_c}{d \times \rho_c}, \quad (3)$$

де μ_c – динамічна в'язкість повітря, $Re_{по} = 11.94$. Значення швидкості початку псевдозрідження $u_{по} = 5.3$.

З метою встановлення швидкості повітряного потоку на виході із сопел був проведено розрахунок у програмному комплексі «Flowvision». При експериментальних дослідженнях системи розподілу повітря з різними конструктивними параметрами було встановлено, що швидкість виходу із сопел залежить від їхнього кута нахилу. За результатами, отриманих досліджень з'ясовано, що найбільш інтенсивне пронизування повітряним потоком шару насіння, що рухається, відбувається при розташування бічних стінок сопел під кутом 58 ... 62°. Підставляючи ці значення, отримуємо швидкість повітряного потоку на виході із сітки, яка дорівнює 5,4 м/с, що задовольняє умову отримання псевдозріженого шару.

Висновки та перспективи. Розроблено технологічну схему сушильної установки, в основу якої закладено принцип НВЧ-нагрівання, яка дозволяє інтенсифікувати зовнішній і внутрішній перенесення в процесі сушіння. У розробленій схемі процес сушіння відбувається в трьох робочих зонах. У першій зоні проводиться нагрівання за допомогою опромінення електромагнітним полем в НВЧ діапазоні насіння до певної температури, другій – відлежування насіння, де відбувається виділення вологи в між-зерновому просторі. У третій зоні проводиться продування шару потоком повітря з організацією псевдозрідження.

Визначено основні конструктивні та режимні параметри. З метою визначення швидкості повітряного потоку на виході із сопел був проведено розрахунок у програмному комплексі «Flowvision».

Список використаних джерел

1. Анискин В. И., Рыбарук В.А. Теория и технология сушки и временной консервации зерна активным вентилированием. М.: Колос, 1972. 199 с.
2. Арапов В. М. Моделирование сушки как физико-химического процесса термического разделения. Математическое моделирование информационных и

технологических систем: Сб. науч. трудов. Вып. 4, Ч.2. Воронеж: Воронеж. гос. технол. акад., 1999. 265-268 с.

3. Пунков С. П., Стародубцева О. И. Хранение зерна, элеваторно-складское хозяйство и зерносушка. М.: Агропромиздат, 1990. 331с.

4. Малин Н. И. Энергосберегающая сушка зерна. М.: Колос, 2004. 238 с.

5. Васильев А. Н., Будников Д. А., Смирнов Б. Г. Использование теории подобия для описания СВЧ сушки зерна. Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: сб. науч. тр. АЧГАА. Зерноград, 2007. С.72-77.

6. Ридко В. И., Резьбяров В. А., Уколов В. С. Зерносушка и зерносушилki. М.: Колос, 1982. 239 с.

7. Пат. 4430806 США, МПК А24В 1/00. Microwave agricultural drying and curing apparatus / Hopkins H.; - 06/319900; заяв. 10.11.1981; опубл. 14.02.1984.

8. Ленкова Т. М., Паньков П. Н. Эффективность СВЧ-обработки зерна. Комбикорма. 2000. № 4. С. 31-32.

References

1. Aniskin, V. I., Rybaruk, V. A. (1972). Teoriya i tekhnologiya sushki i vremennoy konservatsii zerna aktivnym ventilirovaniyem [Theory and technology of drying and temporary conservation of grain with active ventilation]. Moscow: Kolos, 199.

2. Arapov, V. M. (1999). Modelirovaniye sushki kak fiziko-khimicheskogo protsessa termicheskogo razdeleniya [Modeling of drying as a physical and chemical process of thermal separation]. Mathematical modeling of information and technological systems: Sat. scientific. works., 4 (2), 265-268.

3. Punkov, S. P., Starodubtseva, O. I. (1990). Khraneniye zerna, elevatorno-skladskoye khozyaystvo i zernosushka [Grain storage, elevator and warehousing and grain drying]. Moscow: Agropromizdat, 331.

4. Malin, N. I. (2004). Energoberegayushchaya sushka zerna [Energy saving grain drying]. Moscow: Kolos, 238.

5. Vasiliev, A. N., Budnikov, D. A., Smirnov, B. G. (2007). Ispol'zovaniye teorii podobiya dlya opisaniya SVCH sushki zerna [The use of similarity theory to describe microwave grain drying]. Electrical technologies and electrical equipment in agricultural production: coll. scientific tr. АЧГАА: Zernograd, 72-77.

6. Ridko, V. I., Rez'byarov, V. A., Ukolov, V. S. (1982). Zernosushka i zernosushilki [Grain drying and grain dryers]. Moscow: Kolos, 239.

7. Pat. 4430806 USA, IPC A24B 1/00. Microwave agricultural drying and curing apparatus [Text] / Hopkins H.; 06/319900; application. 11/10/1981; publ. 02/14/1984

8. Lenkova, T. M., Pan'kov, P. N. (2000). Effektivnost' SVCH-obrobki zerna [Efficiency of microwave processing of grain]. Compound feeds, 4, 31-32.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ СВЧ – УСТАНОВКИ ДЛЯ СУШКИ ЗЕРНА

Н. П Кунденко, Е. А Пих

Аннотация. *В сельском хозяйстве Украины используются разнообразные сушильные установки, конструкция которых должна обеспечивать равномерный нагрев и сушку зерна, что при этом в то же время позволяет контролировать температуру и влажность в зерновой массе. Выбор целесообразной сушилки позволяет значительно повысить качество высушенного зерна, повышает рентабельность на производстве, увеличивает объем продукции, снижает себестоимость сушки, уменьшает затраты на электроэнергию. В настоящее время наиболее распространенный метод сушки является конвективный, недостатки существующих конвективных зерносушилок - это невысокий КПД, малый удельный съем влаги, неравномерность сушки, высокие расходы сушильного агента, высокие энергозатраты.*

Цель исследования – разработка установки для сушки, рассчитанной на большую пропускную способность.

Применение технологии сушки зерна с помощью электромагнитных полей СВЧ дает ряд существенных преимуществ по сравнению с обычными сушилками, которые используют только тепловой агент. Технология сушки зерна с использованием электромагнитных полей СВЧ может использоваться в комбинированных сушилках.

Разработана технологическая схема сушильной установки, в основу которой положен принцип СВЧ-нагрева, которая позволяет интенсифицировать внешний и внутренний перенос в процессе сушки. В разработанной схеме процесс сушки проходит в трех рабочих зонах. В первой зоне производится нагрев посредством облучения электромагнитным полем в СВЧ диапазоне семян до определенной температуры, второй – отлежка семян, где происходит выделение влаги в межзерновом пространстве. В третьей зоне производится продувание слоя потоком воздуха с организацией псевдоожижения.

Определены основные конструктивные и режимные параметры с использованием программной среды Flowvision.

Ключевые слова: *зерно, СВЧ, сушилки, установка, электромагнитное поле*

DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL SCHEME OF MICROWAVE - UNITS FOR GRAIN DRYING

N. Kundenko, E. Pikh

Abstract. *In the agriculture of Ukraine, a variety of drying installations are used, the design of which should ensure uniform heating and drying of grain, while at the same time allowing to control the temperature and humidity in the grain mass. The choice of an appropriate dryer can significantly improve the quality of dried grain, increase production profitability, increase production, reduce drying costs, and reduce energy costs. Currently, the most common drying method is convective, the disadvantages of existing convective grain dryers are low efficiency, low specific moisture removal, uneven drying, high costs of the drying agent, high energy consumption.*

The purpose of the study is to develop a drying plant designed for high throughput.

The use of grain drying technology using microwave electromagnetic fields provides a number of significant advantages over conventional dryers that use only a thermal agent. Grain drying technology using microwave electromagnetic fields can be used in combined dryers.

The technological scheme of the drying installation is developed, which is based on the principle of microwave heating, which allows to intensify the external and internal transfer during drying. In the developed scheme the drying process takes place in three working zones. In the first zone, heating is carried out by irradiation with an electromagnetic field in the microwave range of seeds to a certain temperature, the second - the aging of the seeds, where moisture is released in the inter-grain space. In the third zone, the layer is blown by air flow with the organization of fluidization.

The main design and mode parameters using the software environment "Flowvision" are determined.

Key words: *grain, microwave oven, dryers, installation, electromagnetic field*